

MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LOS CANALES DE FLUJO Y SUS EFECTOS EN LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEM

Soria Mejía Sandra Paloma (1), Sabás Segura José (2), Ramírez Minguela José de Jesús (3)

1 [Ingeniería en Energías Renovables, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo] | Dirección de correo electrónico: [paloma_m.a@hotmail.com]

2 [Coordinación de Energías Renovables, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo] | Dirección de correo electrónico: [jose.sabas@tecabasolo.edu.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [j dj.ramirezminguela@ugto.mx]

Resumen

El objetivo de este trabajo es la modificación de los canales de flujo de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones (PEMFC, por sus siglas en inglés), colocando en ellos obstáculos semicirculares que afectan el transporte de reactivos y potencia neta celular. Se analiza una geometría plana simple, presentándose las ventajas de permitir un mejor acoplamiento de la celda en un menor volumen y posibilitar el diseño de las placas bipolares que unen todas las partes formando un solo circuito eléctrico, realizando una simulación, en tres dimensiones, mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés), que usa el método de elementos finitos, específicamente el software COMSOL Multiphysics. Los resultados que se obtienen son los parámetros de distribución de corriente eléctrica, temperatura y especies a lo largo de la celda, tomando en cuenta los múltiples fenómenos que ocurren en su interior, en comparación con los canales de flujo tradicionales sin obstáculos. La evaluación del desempeño de la PEMFC se lleva a cabo a partir de las curvas de polarización resultantes.

Abstract

The focus of this work is the modification in the flow channels of a proton Exchange membrane fuel cell (PEMFC), placing in them semi-circular obstacles affecting the transport of reactants and net cell power. A simple plane geometry is analyzed, presenting the advantages of allowing better coupling of the cell into a smaller volume and facilitating the design of the bipolar plates that join all the parts forming a single circuit, performing a simulation, in three dimensions, by computational fluid dynamics (CFD), using the finite element method, specifically COMSOL Multiphysics software. The results obtained are the parameters of power distribution, temperature and elements throughout the cell, taking into account the multiple phenomena that occur inside, compared to traditional channels with unimpeded flow. Performance evaluation of the PEMFC is carried out from the resulting polarization curves.

Palabras Clave

Electrolito; Hidrógeno; Membrana; Velocidad de Flujo; Voltaje en la Celda.

INTRODUCCIÓN

Hoy en la actualidad la utilización del hidrógeno se presenta cada vez con más firmeza como un vector energético con buenas perspectivas para su aplicación. Los átomos de este elemento químico se componen de tan sólo un protón y un electrón, y son los más abundantes: cerca del 90% de todos los átomos que existen en el Universo son de hidrógeno [1].

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de la reacción entre el hidrógeno (H₂) y el oxígeno (O₂) en energía eléctrica y calor [2], siendo una alternativa para el uso en el transporte, en redes de servicios y con el objetivo de incrementar la flexibilidad de generación de electricidad. Los factores que impulsan el estudio de las celdas de combustible son sin duda las ventajas de ser un sistema de conversión de energía limpia y sostenible.

Las celdas de combustible se clasifican de acuerdo a su tipo de electrolito, ya que es el componente que determina la propiedad [3]. En este trabajo se analiza una celda de combustible de tipo membrana de intercambio de protones, denominada de esta manera debido al electrolito que está constituido por una membrana polimérica. Este tipo de celdas, ofrecen gran eficiencia, operando a temperaturas bajas entre 80 y 90°C, siendo el portador de carga H⁺ y el rango de potencia de 1 a 100 kW, obteniendo además como único subproducto de dicha reacción agua (H₂O) [3].

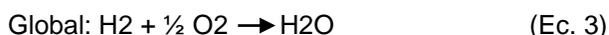
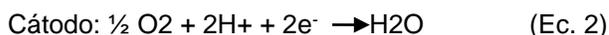
Las celdas de combustible tipo PEM están compuestas por dos electrodos, uno cargado positivamente (ánodo) y otro cargado negativamente (cátodo), dos canales de flujo, dos capas de difusión de gas, y dos capas catalizadoras, separados por una membrana electrolítica que facilita la transferencia iónica.

El hidrógeno fluye por el canal en el lado del ánodo y es dirigido a través de la capa de difusión hasta la capa catalizadora, donde ocurre la reacción de oxidación del hidrógeno Ec.1. Ambas capas de difusión de gas deben ser de un material altamente poroso para facilitar la difusión de los reactivos.

Los protones que se generan en la capa catalizadora pasan a la membrana, pero los electrones no, debido a que esta no es conductora de ellos, buscando una salida a través de las capas difusoras y las placas, creando así una corriente eléctrica.

Por el otro lado de la celda, el oxígeno entra en el canal de flujo del cátodo, haciendo contacto en la capa difusora y combinándose con los protones en la capa catalizadora que atravesaron la membrana y los electrones, generando agua y calor Ec.2.

Las reacciones electroquímicas descritas anteriormente se encuentran en el documento desarrollado por el Dr. Stefan Schweizer [3] y son las siguientes:



MATERIALES Y MÉTODOS

Se modela una celda de combustible tipo PEM utilizando una geometría plana simple ilustrada en la imagen 1, ya que se presentan las ventajas de permitir un mejor acoplamiento de la celda en un menor volumen. Los parámetros geométricos y físicos de la celda se seleccionaron en base a un estudio de acuerdo con Mass Transport Analysis of a High Temperature PEM Fuel Cell [4].

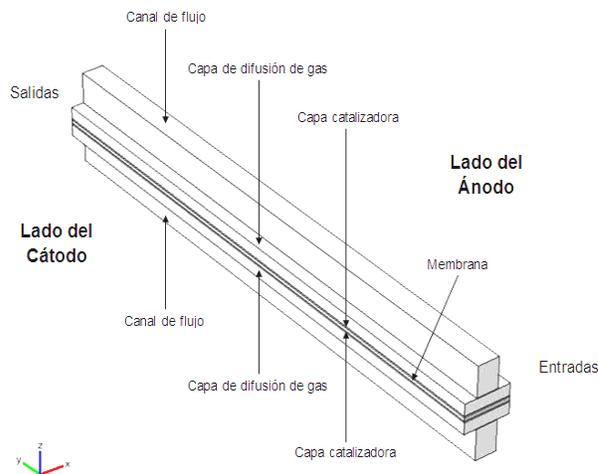


IMAGEN 1: Geometría de la celda de combustible tipo PEM.

Simulación de la celda de combustible tipo PEM

En este modelo se realiza una investigación del transporte de los reactivos en estado estacionario y los fenómenos que ocurren en los canales de flujo, en las capas de difusión de gas y en las capas catalizadoras. Así como también las corrientes electroquímicas en las capas difusoras, catalizadoras y en la membrana.

Para la simulación se tomaron los parámetros necesarios, donde la distribución de corriente secundaria se usa para crear las corrientes electroquímicas utilizando la ley de Ohm y despejando el potencial electrónico de las capas catalizadoras (Φ_s), Φ_s y el potencial iónico de las capas de difusión de gas (Φ_l), y Φ_l en la membrana electrolítica. En los electrodos porosos las densidades de corriente locales dependen de los potenciales iónicos y electrónicos, al igual que las concentraciones de reactivos locales [3].

La ecuación 4 que a continuación se escribe representa la densidad de corriente local que se utiliza para la reacción de oxidación del hidrógeno:

$$i_a = i_{0,a} \left(\frac{c_{H_2}}{c_{H_2,ref}} \right)^{0.5} \left(\frac{\alpha_{a,a} + \alpha_{c,a}}{RT} F \eta_a \right) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde c_{H_2} es la concentración de hidrógeno y $c_{H_2,ref}$ una concentración de referencia de hidrógeno (esto es una expresión de concentración dependiente de Butler-Volmer).

La siguiente expresión 5 de densidad de corriente se aplica para la reacción de reducción de oxígeno:

$$i_c = -i_{0,c} \left(\frac{c_{O_2}}{c_{O_2,ref}} \right) \exp \left(-\frac{\alpha_{c,c}}{RT} F \eta_c \right) \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde el c_{O_2} es la concentración de oxígeno y $c_{O_2,ref}$ una concentración de oxígeno de referencia. (Esta es una expresión de concentración simplificada dependiente de Butler-Volmer).

Con las simulaciones realizadas, se ha observado que los resultados obtenidos son comparables con el estudio Mass Transport Analysis of a High Temperature PEM Fuel Cell [4], por lo que el uso y

capacidad del código numérico utilizado en el presente trabajo para el modelo y simulación de la celda de combustible tipo PEM es confiable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La modelación y simulación de la celda de combustible tipo PEM fue introducida en COMSOL Multiphysics.

La evaluación de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante la realización de la curva de polarización mostrada en la imagen 2.

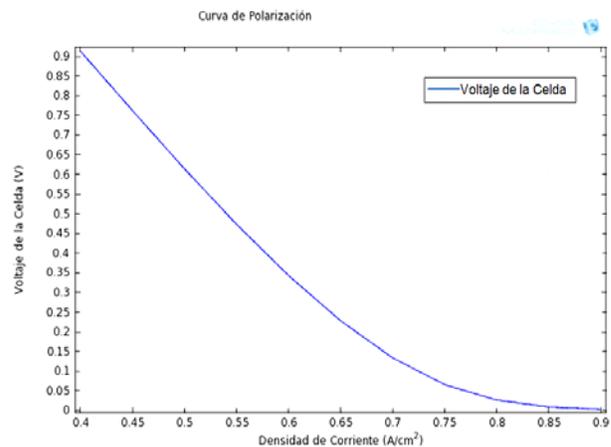


IMAGEN 2: Curva de Polarización de la Celda.

Como se puede observar en la imagen 2, a menor corriente en la celda mayor es el voltaje, característica de la potencia eléctrica.

La distribución del voltaje a lo largo de la membrana se describe en la imagen 3:

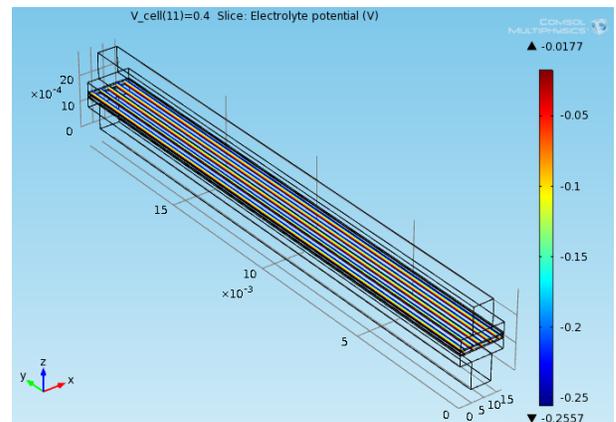


IMAGEN 3: Distribución del voltaje en la membrana.

El voltaje presente en la membrana, va desde -0.2557 a -0.0177 V, teniendo más voltaje en el extremo del ánodo donde se está produciendo la reacción electroquímica.

La velocidad de los reactivos se describe en la imagen 4.

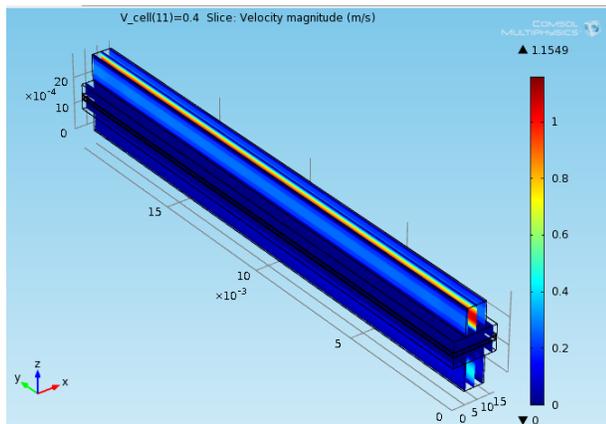


IMAGEN 4: Velocidad de los reactivos.

En la imagen 4, se ve como la velocidad de los reactivos aumenta desde 0 a 1.15 m/s, siendo más predominante el valor en el centro de la celda debido a la poca presión existente.

La utilización del hidrógeno y del oxígeno a lo largo de la celda se presenta a continuación:

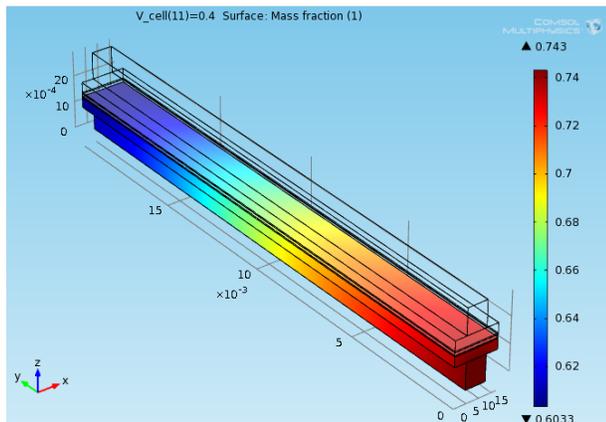


IMAGEN 5: Concentración de hidrógeno en el lado del ánodo.

La concentración de hidrógeno en la imagen 4, se ve como el nivel del combustible baja uniformemente, habiendo muy poca concentración a la salida del canal en el lado del ánodo. Mientras que el oxígeno, imagen 5, es concentrado en un nivel significativamente bajo en

la parte de la capa difusora en comparación a la concentración que está entrando en el canal del cátodo.

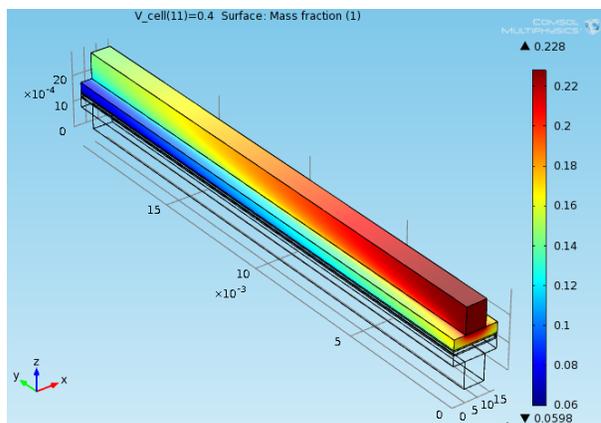


IMAGEN 6: Concentración de oxígeno en el lado del cátodo.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo tridimensional en COMSOL Multiphysics de una celda de combustible tipo PEM y de acuerdo con los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Se mostró el comportamiento en la celda donde se puede observar las concentraciones de hidrógeno y oxígeno tanto en el ánodo y cátodo respectivamente. Así mismo, se observó una relativa velocidad cuando la geometría es cuadrada, presentando un aumento en el voltaje mientras más se encuentra en el extremo del ánodo donde se está produciendo la reacción electroquímica.

También se observó en la curva de polarización de la celda de combustible tipo PEM, que cuando la densidad de corriente es mayor, menor es el voltaje, y ocurre lo contrario cuando la densidad de corriente disminuye.

Para mejorar este estudio se debe modificar el tipo de estructura geométrica en los canales de flujo de la celda para reducir fricciones y pérdidas; para este artículo solo se pudieron analizar decrementos en el área de la geometría de la membrana de la celda.

REFERENCIAS

- [1] Gasque, L. (2006). El hidrógeno, energético del futuro. Revista ¿Cómo ves? Universidad Nacional Autónoma de México, no. 93. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/93>.
- [2] Rozo, S. & Tibaquirá, J. (2007). Celdas de combustible tipo membrana de intercambio protónico. Scientia Et Technica, vol. XIII, núm. 37, pp. 279-283. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903747>.
- [3] Schweizer, S. (2012). Presentation: Fuel Cells and Energy Parks. University of Applied Sciences. Fachhochschule Südwestfalen.
- [4] COMSOL Multiphysics. (2011). Mass transport analysis of a high temperature pem fuel cell.
- [5] Shian-Wuu Perng & Horng-Wen Wu. (2015). A three-dimensional numerical investigation of trapezoid baffles on non-isothermal reactant transport and cell net power in a PEMFC. ELSERVIER, Applied Energy, 143(2015) 81-95.